

Alexsi Tyni

Lineaaritoimilaitteen kehittäminen



PROBOT

Insinööri (AMK)

Kone- ja tuotantotekniikka

Kevät 2017



KAJAANIN
AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

TIIVISTELMÄ

Tekijä(t): Tyni Aleksi

Työn nimi: Lineaaritoimilaitteen kehittäminen

Tutkintonimike: Insinööri (AMK), Kone- ja tuotantotekniikka

Asiasanat: lineaariliike, 3D-mallinnus, suunnittelu, mekaniikka

Probot Oy on oululainen tekniikan alan yritys. Yritys perustettiin vuonna 2006 täyttämään tutkimuspuolen ja teollisuuden väliin jäävä alue. Yrityksellä on omien tuotteiden lisäksi useita eri robotiikan alan yritysten edustuksia. Probot Oy tarjoaa myös asiakkaan tarpeisiin kustomoituja robotiikka- ja automaatio-sovelluksia sekä päivityksiä ja optimointia jo olemassa oleviin sovelluksiin.

Työn aiheena on lineaaritoimilaitteen kehittäminen. Yrityksessä oli käynnistymäisillään projekti, jossa tarvittiin pitkää lineaaritoimilaitetta. Työn tavoitteena oli tutkia ja kehittää pitkä ja kustannustehokas lineaaritoimilaite. Toimilaitteessa tuli olla kaksi akselia, x- ja z-akselit. Lineaaritoimilaitteen prototyypin osat valmistettiin mahdollisimman pitkälle 3d-tulostamalla ja laserleikkaamalla, sillä näin kappaleet voitiin valmistaa itse. Lineaaritoimilaitteen kehittämistä tullaan jatkamaan yrityksessä opinnäytetyön päättymisen jälkeen. Toimeksiantajan kannalta tärkeintä oli saada ensimmäinen versio lineaaritoimilaitteesta, jotta sen toimintaa päästäisiin kokeilemaan käytännössä. Tämän jälkeen ideaa päästään kehittelemään pitemmälle.

Opinnäytetyön tuloksena saatiin kehitettyä, mallinnettua ja valmistettua ehdotus lineaaritoimilaitteen toteutuksesta. Työn aikana perehdyttiin lineaariliikkeeseen, erilaisiin lineaaritoimilaitteiden toteutustapoihin ja niiden mekaniikkaan. Näiden pohjalta lähdettiin suunnittelemaan ja valmistamaan tarpeellisia osia.

ABSTRACT

Author(s): Tyni Aleksi

Title of the Publication: Development of Linear Actuator

Degree Title: Bachelor of Engineering, Mechanical and Production Engineering

Keywords: linear movement, 3D-modelling, design, mechanics

Probot Ltd is an engineering company from Oulu, Finland, established in 2006 to fulfill the gap between academic research and industry. Along with company's own products, they have several dealerships for different robot companies. Probot Ltd also offers customized automation and robotic applications, optimization and updates to existing applications.

This thesis deals with developing a linear actuator. The company was launching a project that needed a long linear actuator. The aim of the thesis was to study and develop a long and cost effective linear actuator with two axes, x and z-axes. The prototype parts of the linear actuator were made as far as possible by 3D printing and laser cutting. Thus, the pieces were possible to be manufactured by the company. The development of the linear actuator will be continued in the company after the thesis is completed. From the point of view of the customer, the most important thing was to get the first version of the linear actuator ready to try it in practice. After that, the idea can be further developed.

The end-result of the thesis is a developed, modeled and manufactured proposal for the implementation of the linear actuator. During the work, the linear movement, various methods of linear actuators and their mechanics were studied. Based on the study, the design and manufacture of the necessary parts were started.

ALKUSANAT

Tämä opinnäytetyö on tehty Probot Oy:lle. Työssä pyrittiin kehittämään mahdollisimman kustannustehokas lineaaritoimilaite kahdella akselilla. Prototyyppi valmistettiin 3d-tulostamalla ja laserleikkaamalla.

Haluan kiittää Probot Oy:tä työn aiheesta ja hyvistä toteutusehdotuksista työn aikana. Suurimmat kiitokset kuuluvat avopuolisolleni, joka on jaksanut olla tukena vaikean kevään aikana.

SISÄLLYS

1 JOHDANTO.....	1
2 PROBOT OY	2
3 LINEAARILIIKE	3
3.1 Lineaariliike	3
3.2 Lineaaritoimilaite	3
3.3 Toteutustapoja.....	3
3.3.1 Hammashihna	4
3.3.2 Johdinruuvi.....	6
3.3.3 Kuularuuvi	6
4 3D-MALLINNUS	8
4.1 3D-mallinnus yleisesti.....	8
4.2 SolidWorks	9
5 MEKANIIKAN SUUNNITTELU	10
5.1 Valittu toteutustapa.....	10
5.2 Osien suunnitleminen.....	10
5.3 Valmistusmenetelmät.....	18
5.3.1 3D-tulostus	18
5.3.2 Laserleikkaus	19
5.4 Osien valmistaminen	21
6 KOKOONPANO	23
7 YHTEENVETO	25
LÄHTEET	26
LIITTEET	

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön toimeksiantajana toimi oululainen Probot Oy. Työn aiheena on lineaaritoimilaitteen kehittäminen. Yrityksessä oli käynnistymäisillään projekti, jossa tarvittiin pitkää lineaaritoimilaitetta. Näin pitkän lineaaritoimilaitteen rakentaminen valmiista osista käy nopeasti kalliiksi, joten toimeksiantajan puolelta ilmaistinkin halu lähteä kehittämään kustannustehokasta versiota valmistaa pitkä lineaaritoimilaite.

Työn tavoitteena oli tutkia ja kehittää pitkä ja kustannustehokas lineaaritoimilaite. Toimilaitteessa tuli olla kaksi akselia, x- ja z-akselit. Lineaaritoimilaitteen prototyyppin osat valmistettiin mahdollisimman pitkälle 3d-tulostamalla ja laserleikkaamalla, sillä näin kappaleet voitiin valmistaa itse. Lineaaritoimilaitteen kehittämistä tullaan jatkamaan yrityksessä opinnäytetyön päättymisen jälkeen.

Työssä perehdytään lineaariliikkeeseen, erilaisiin lineaaritoimilaitteiden toteutustapoihin ja niiden mekaniikkaan. Näiden pohjalta lähdettiin suunnittelemaan ja valmistamaan tarpeellisia osia. Suunnittelutyössä apuvälineenä toimi SolidWorks 3d-mallinnusohjelmisto. Toimeksiantajan kannalta tärkeintä oli saada ensimmäinen versio lineaaritoimilaitteesta, jotta sen toimintaa päästäisiin kokeilemaan käytännössä. Tämän jälkeen ideaa päästään kehittelemään pitemmälle.

2 PROBOT OY

Probot Oy (Kuva 1) on oululainen tekniikan alan yritys. Yritys perustettiin vuonna 2006 täyttämään tutkimuspuolen ja teollisuuden väliin jäävä alue. Yrityksen visio on tuoda tutkimuspuolen aikaansaamat tulokset loppukäyttäjän käytettäväksi, käytännön sovelluksiksi.

Yrityksellä on omien tuotteiden lisäksi useita eri robotiikan alan yritysten edustuksia. Probot Oy tarjoaa myös asiakkaan tarpeisiin kustomoituja robotiikka- ja automaatio-sovelluksia sekä päivityksiä ja optimointia jo olemassa oleviin sovelluksiin.
[1.]



Kuva 1. Probot Oy:n logo

3 LINEAARILIIKE

3.1 Lineaariliike

Lineaariliikkeellä tarkoitetaan suoraviivaista liikettä. Suoraviivaisessa liikkeessä kappale etenee suoraan eli lineaarisesti. Lineaarinen liike on luonnollinen liike kappaleelle. Lineaariliikkeeseen liittyy fysiikan suureita, kuten nopeus, kiihtyvyys, massa, voima ja liikemäärä. Newtonin I lain mukaan kappale jatkaa suoraviivaista liikettä tai pysyy paikoillaan, jos siihen ei vaikuta mitään voimia. [2.] [3.]

3.2 Lineaaritoimilaite

Lineaaritoimilaitteella tarkoitetaan laitetta, jolla tuotetaan suoraviivaista liikettä. Käsite lineaaritoimilaite kattaa allensa laajan kirjon tuotteita. Jokaisen alakategorian tuotteet ovat erilaisia niin ulkoisesti kuin toiminnaltaan. [4.]

Lyhyesti sanottuna kaikki lineaaritoimilaitteet ovat riippuvaisia ulkoisesta, epälineaarisesta voimasta, jonka avulla mäntää liikutetaan edestakaisin. Männällä voidaan tarkoittaa myös kelkkaa. Kuten aiemmin mainittiin, kaikkien erilaisten lineaaritoimilaitteen toiminta eroaa hieman toisistaan, mutta pääperiaate on kaikissa sama ts. tuottaa suoraviivaista liikettä. [4.]

3.3 Toteutustapoja

Toteutustapoja on olemassa useita erilaisia. On olemassa mekaanisia, hydraulisia, pneumaattisia ja sähkömekaanisia toteutustapoja. Työssä keskityttiin kuitenkin moottorilla toteutettuun mekaaniseen liikkeeseen.

Mekaanisten ja sähkömekaanisten lineaaritoimilaitteiden toiminta perustuu tyypillisesti siihen, että pyörivä liike muunnetaan suoraviivaiseksi liikkeeksi. Mekaani-

sella vivulla tai moottorilla toteutettu edestakainen liike voidaan muuntaa suoraviivaiseksi esimerkiksi hihnan tai ruuvien avulla. Hyvä esimerkki kaikille tutusta mekaanisesta lineaariliikkuudesta on tunkki. [4.]

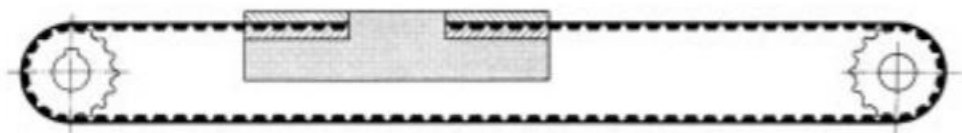
Usein lineaariliikettä toteutettaessa mukana on myös lineaarijohteita. Johteiden tehtävänä on ohjata liike haluttuun suuntaan oikeassa asennossa. Johteista on olemassa useita erilaisia versioita. On olemassa perinteisiä lineaarijohteita, lineaarijohteita kuulaketjuilla, liukujohteita, rullajohteita jne. On myös mahdollista, ettei itse johdetta ole. Liike voidaan suunnata haluttuun suuntaan myös muilla tavoin. Esimerkiksi alumiiniprofiilin uria voidaan käyttää johteina. Jokaiselle profiilille on olemassa omat kelkkansa, joista voi olla olemassa erilaisia variaatioita.

3.3.1 Hammashihna

Hammashihna on erinomainen komponentti lineaariliikkeen toteuttamisessa. Sen avulla on helppo muuntaa pyörimisliike suoraan lineaariliikkeeksi niin luotettavasti kuin nopeastikin. Hihnaa käyttämällä päästään myös hyviin toistotarkkuuksiin. Yksi hammashihnan eduista on myös se, ettei voitelua tarvita. Hammashihnoja on useita erilaisia. On olemassa erilaisilla profiileilla ja leveyksillä olevia hihnoja, sekä eri materiaalista valmistettuja ja vahvistettuja hihnoja. Eri profiililla oleville hihnoille on olemassa omat hammaspyöränsä. [5.]

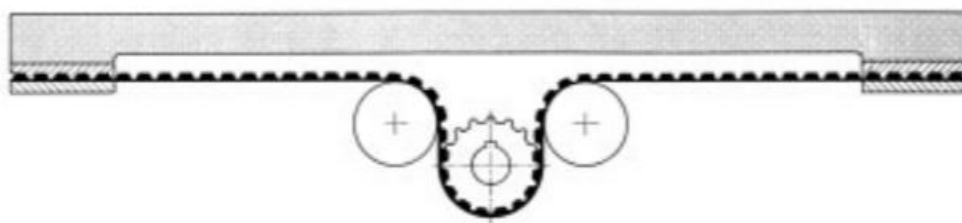
Hammashihnan käytölle lineaarisovelluksessa on kolme peruskonstruktiota. Nämä kolme peruskonstruktiota ovat lineaarikelkka, lineaaripöytä ja lineaari-juoksuvaunu. [5.]

Lineaarikelkassa (kuva 2) hihnan kummatkin päät ovat kytketty kelkkaan, jota liikutellaan. Hihna kulkee kahden hammaspyörän ympäri, joista toisessa on moottori. Moottorin pyörimisliikkeellä liikutetaan hihnaa, jolloin kelkka liikkuu lineaarisesti. [5.]



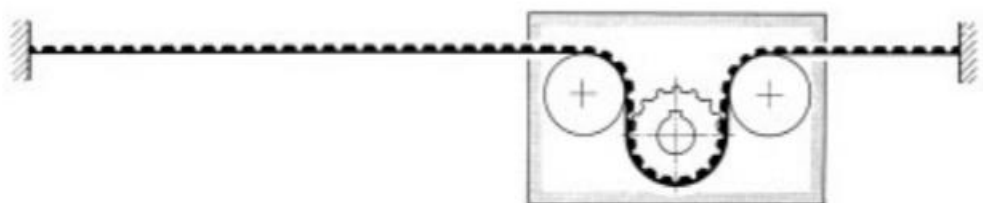
Kuva 2. Lineaarikelkka [5.]

Lineaaripöydässä (kuva 3) hihnan päät on kytketty pöytään. Moottori, jossa hammaspyörä on, sekä kaksi apupyörää ovat kiinteästi paikoillaan. Hihna kulkee hammaspyörän kautta, kahden apupyörän välistä. Myös tässä tapauksessa moottorin pyörimisliike liikuttaa hihnaa, jolloin pöytä liikkuu lineaarisesti. [5.]



Kuva 3. Lineaaripöytä [5.]

Lineaari-juoksuvaunun (kuva 4) toimintaperiaate on hyvin samanlainen kuin lineaaripöydän toimintaperiaate. Lineaari-juoksuvaunussa hihnan päät on kytketty kiinteästi johonkin. Hammaspyörällä oleva moottori ja kaksi apupyörää ovat liikkuvassa juoksuvaunussa. Tällöin moottoria pyörittäessä liikkuu juoksuvaunu lineaarisesti. [5.]



Kuva 4. Lineaari-juoksuvaunu [5.]

3.3.2 Johdinruuvi

Johdinruuvilla (kuva 5) tarkoitetaan kierteellistä tankoa, jolla pyörimisliike muutetaan suoraviivaiseksi liikkeeksi. Johdinruuvi koostuu kierteellisestä tangosta eli ruuvista ja mutterista. Johdinruuvissa ruvin kierre on suoraan kontaktissa mutterin kierteeseen. Johdinruuvissa olevia kierteitä on useita erilaisia. Yksi yleinen kierre on trapetsikierre. [6.]



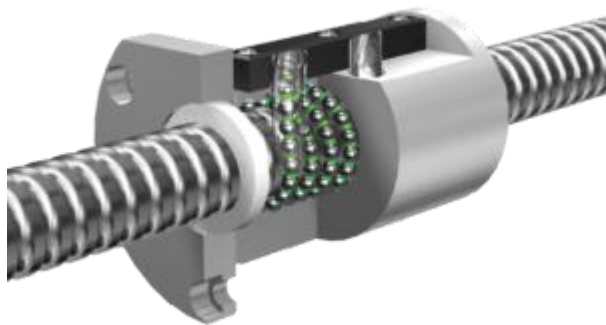
Kuva 5. Johdinruuvi. [7.]

Johdinruuvit ja niiden käyttäminen ovat halpaa. Johdinruuvit ovat itsestään lukkiutuvia, eivätkä ne tarvitse jarrutusjärjestelmää. Tästä johtuen johdinruuvit toimivat hyvin pystysuuntaisissa sovelluksissa. Koska johdinruuvissa mutteri ja ruuvi ovat suorassa kontaktissa toisiinsa, syntyy liukuva pinta. Toisiansa vasten liukuvat pinnat aiheuttavat suuren kitkan. Suuri kitka taas aiheuttaa sen, että johdinruuvit kuumenevat helposti. Tämän takia johdinruuvit eivät ole hyvä vaihtoehto suurilla nopeuksilla käytettäessä. Johdinruuvit myös kuluvat herkemmin verrattuna kuularuuveihin, eikä niillä päästä samanlaisiin tarkkuuksiin. [8.]

3.3.3 Kuularuuvi

Kuularuuvi (kuva 6), kuten johdinruuvikin, muuttaa pyörimisliikkeen suoraviivaiseksi liikkeeksi. Kuularuuvi koostuu kierteellisestä tangosta ja kuulamutterista.

Kuulamutteri liikkuu kierrettä pitkin kuulalaakereiden avulla. Kuulalaakerit tarjoavat pyörivän pinnan johdinruuvien liukuvan pinnan tilalle. Kuulalaakerit pyörivät tangon ja mutterin välissä. Tästä johtuen kitkaa syntyy paljon vähemmän, eikä kuularuuvi kuumene kuten johdinruuvi. Tämän ansiosta kuularuuvit ovat tehokkaampia kuin johdinruuvit. [9.]



Kuva 6. Kuularuuvi. [9.]

Kuularuuvilla on myös huonoja puolia. Ne ovat kalliimpia kuin johdinruuvit sekä vaativat voitelua kestääkseen niille suunnitellun ajan. Kuularuuvit tarvitsevat myös jarrutusjärjestelmän, toisin kuin itsestään lukkiutuvat johdinruuvit. Tästä johtuen kuularuuvilla voi olla ongelmia pystysuuntaisissa sovelluksissa. [8.]

4 3D-MALLINNUS

4.1 3D-mallinnus yleisesti

3D-mallinnuksella tarkoitetaan asian tai esineen kolmiulotteista mallintamista tietokoneella. Kolmiulotteinen malli helpottaa havainnollistamaan asiaa tai esinettä paremmin kuin perinteinen kaksiulotteinen malli. Kolmiulotteisen mallin avulla kapaleiden tarkastelu ja muokkaaminen ovat helpompaa, sillä sen muodon hahmottaa silloin paremmin. [10.]

Tyypillisesti 3D-mallintamista hyödynnetään tietokoneavusteisessa suunnittelussa (CAD), tuotekehityksessä ja erilaisten pelien, elokuvien ja tv-ohjelmien animoinnissa. [10.]

Tietokoneavusteisen suunnittelun uranuurtajina pidetään Patric Hanrattyja ja Ivan Sutherlandia. He loivat pohjan nykyiselle tietokoneavusteiselle suunnittelulle. Hanratty kehitti maailman ensimmäisen kaupallisen CNC-ohjelmointijärjestelmän PRONTOn (Program for Numerical Tooling Operations) 1950-luvun lopulla ja Sutherland loi Sketchpad-suunnitteluohjelman 1970-luvun alussa. Kiitos Sketchpadin, 3D on sitä mitä se nykyään on. [11.]

1980-luvulla 3D-mallinnus alkoi yleistyä teollisuuden puolella. Vuonna 1983 julkaistiin ensimmäinen AutoCAD-ohjelmisto. AutoCAD oli yksi suurimmista tietokoneavusteisen suunnittelun mullistajista, ja se nousikin 1990-luvulla maailman johtavaksi CAD-ohjelmistoksi. [11.]

Nykyaikana 3D-mallinnusohjelmistoja on useita erilaisia. Ohjelmistot ovat yhä enemmän yhteensopivia muiden ohjelmistojen kanssa. Ohjelmistoihin on tullut uusia ominaisuuksia ja toimintoja, sekä niiden käyttöliittymää on pyritty tekemään mahdollisimman käyttöystävälliseksi.

4.2 SolidWorks

SolidWorks on parametrinen 3D-suunnitteluohjelmisto, joka sisältää sekä tilavuus- että pintamallinnustyökalut. Ohjelmisto on suunniteltu erilaisten kappaleiden ja kokoonpanojen suunnitteluun, muotoiluun, simulointiin ja tiedonhallintaan. SolidWorks on ranskalaisen Dassault Systemesin tuote. Ohjelmistosta on saatavilla kolme erilaista kokonaisuutta, joiden sisältö eroaa toisistaan lisäsovellusten määrässä. SolidWorksistä on saatavilla myös opiskelijoille tarkoitettu Student-versio, joka pohjautuu Premium-versioon. Sen käyttöä on kuitenkin rajoitettu, eikä sitä saa käyttää kaupallisessa toiminnassa. [12.] [13.]

SolidWorksilla tuotteet suunnitellaan osina, joista voidaan tehdä kokoonpanoja ja valmistuspiirustuksia. Kaikki nämä tiedostot ovat yhteyksissä toisiinsa siten, että osaa muokattaessa myös kokoonpano ja valmistuspiirustukset muuttuvat. Yhdelle kappaleelle voi myös luoda eri konfiguraatioita, joilla voidaan muuttaa esimerkiksi kappaleen kokoa tai muotoa. Konfiguraatioita voidaan käyttää hyödyksi kokoonpanossa, joissa tarvitaan samaa kappaletta erikokoisena tai hieman eri muodolla. [12.]

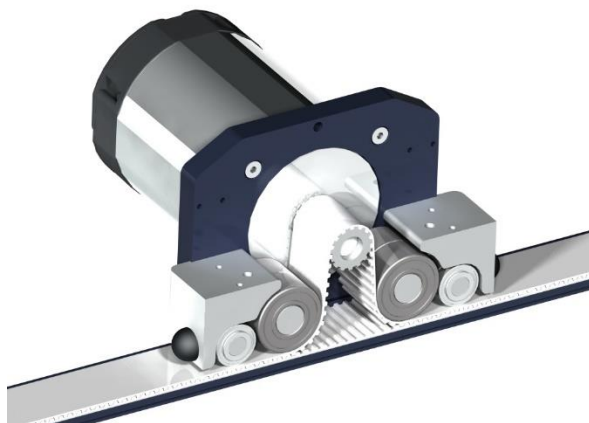
5 MEKANIIKAN SUUNNITTELU

5.1 Valittu toteutustapa

Suunnittelun alussa päätettiin toteuttaa lineaariliike hihnavedolla. Lineaarin x-akselin pituudesta johtuen liikkeen toteuttaminen ei olisi onnistunut kierretangolla tai kuularuuvilla. Yrityksen toivomuksesta aloitettiin kustannustehokkaan lineaariliikujan kehittäminen, jolloin harkittiin useita erilaisia johderatkaisuja. Lineaarijohteet kelkkoineen muodostaisivat suuren osan hinnasta, joten toteutuksessa päädyttiin käyttämään alumiiniprofiiliin asettuvia renkaita sen sijaan. Esimerkiksi erään valmistajan johteet (2 kpl) ja niille sopivat kelkat (4 kpl) olisivat maksaneet 1055 euroa.

5.2 Osien suunnitleminen

Ennen suunnittelun aloittamista inspiraatiota ja mallia lähdettiin hakemaan internetin hakukoneiden avulla. Hakukoneiden avulla löytyi useita hyviä esimerkkejä lineaaritoimilaitteista ja niiden toteutuksista (kuvat 7 & 8). Erittäin hyviä esimerkkejä löytyi esimerkiksi tee-se-itse CNC-koneista.



Kuva 7. Hihnavedon inspiraatiota. [14.]

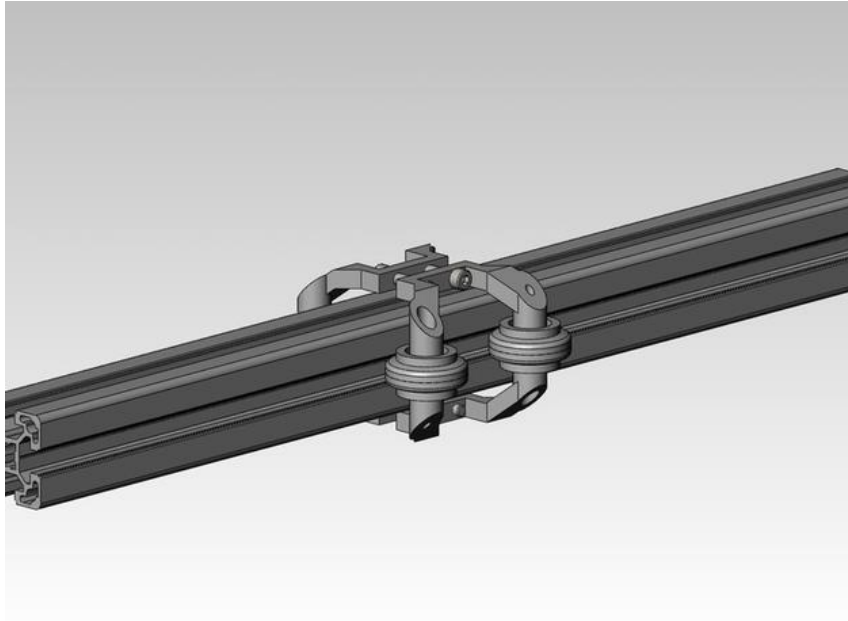


Kuva 8. Lineaari-juoksuvaunumalli. [15.]

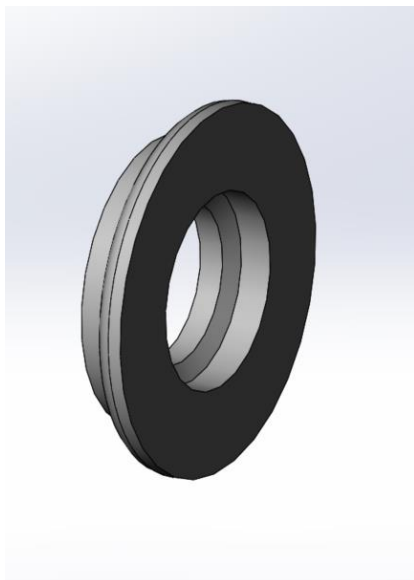
Osien suunnittelussa oli otettava huomioon käytettävät valmistusmenetelmät. Osat tuli suunnitella niin, että ne ovat laserleikattavissa ja 3d-tulostettavissa. 3d-tulostettavia osia suunnitellessa oli huomioitava, ettei niihin voi tulostaa kierteitä. Muttereille oli siis oltava paikat tarpeen vaatiessa. 3d-tulostaminen ilman tukimateriaalia asettaa myös omat rajansa. Kappaleet tuli suunnitella niin, että ne ovat tulostettavissa ilman tukimateriaalia. 3d-tulostaessa myös reikiin pitää ottaa hieman lisää tilaa, sillä 3d-tulostimesta riippuen reiät tulevat yleensä hieman pienempänä. Tämä siksi, että ekstruuderin kärki menee esimerkiksi 8 mm reiän reunalla. Materiaali tulee kärjestä ulos ja levittäytyy viivan kummallekin puolelle. Määrä riippuu ekstruuderin kärjen koosta.

Osia suunnitellessa oli myös otettava huomioon, miten kokoonpano tapahtuisi. Osat piti suunnitella siten, että kokoonpano olisi tehtävissä ja mielellään mahdollisimman helposti.

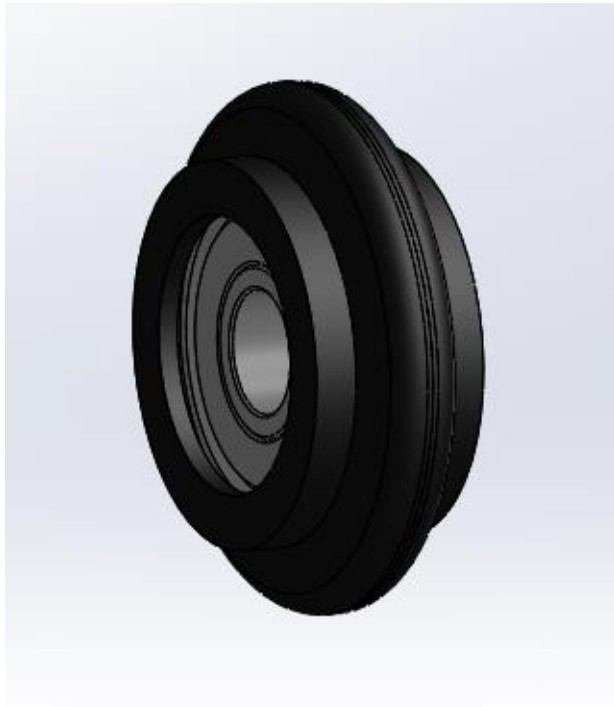
Renkaiden käyttämisestä alumiiniprofiilissa idea saatiin Thingiverse sivulla olevasta 3d-mallista (kuva 9). Kyseiset renkaat oli suunniteltu eri profiilille ja niitä käytettiin ajatuksen saamiseksi. Eri profiilille suunniteltiin hieman vastaavanlaiset renkaat. X-akselin profiilin ura erosi z-akselin profiilien urista, joten kumpaankin suunniteltiin oman kokoiset, hieman eroavat renkaat (kuvat 10 & 11).



Kuva 9. Renkaiden käyttö alumiiniprofiilissa malli. [16.]

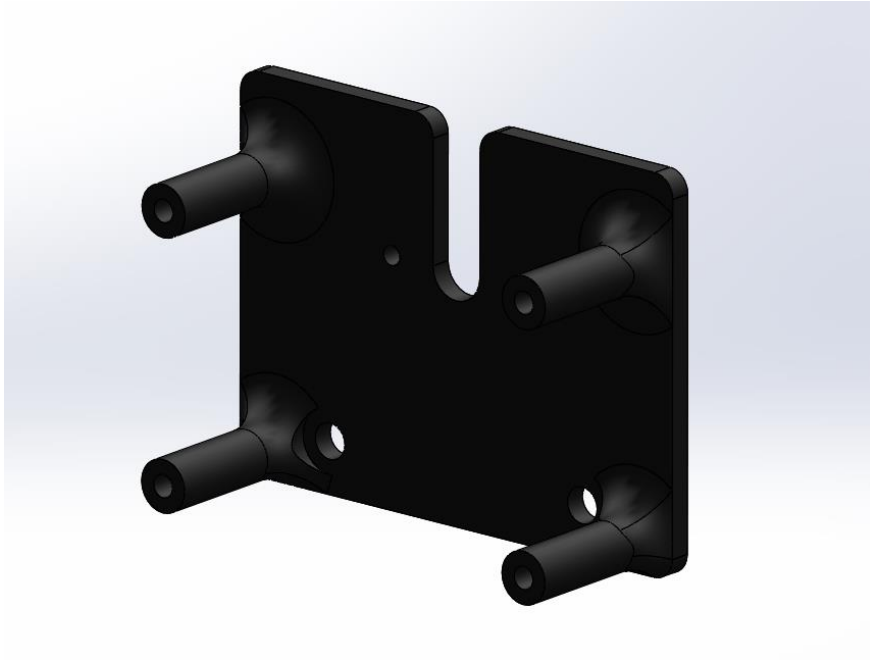


Kuva 10. X-akselin renkaan puolikas.



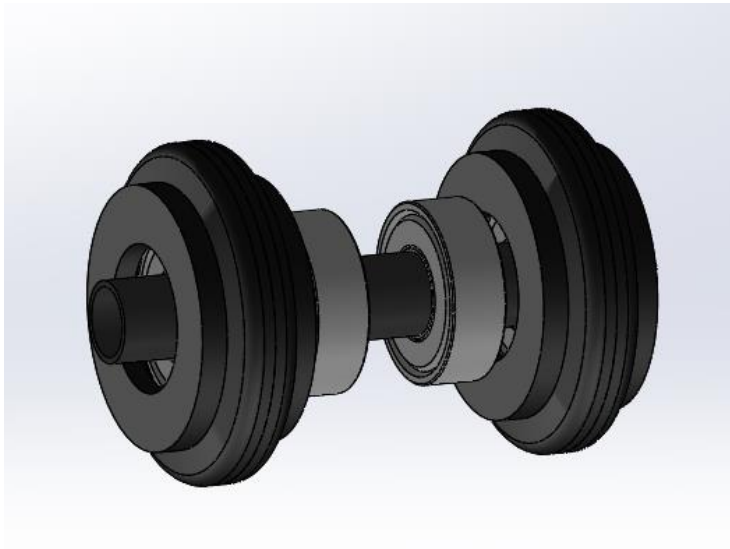
Kuva 11. Z-akselin rengas, välissä laakeri.

Lineaarin hihnavetoa lähdettiin suunnittelemaan saatavilla olevan teorian ja löytyneiden esimerkkien pohjalta. X-akselin liike päätettiin toteuttaa lineaari-juoksuvaunutavalla ja z-akselin liike lineaaripöydän tavalla. Kumpikin oli toteutettavissa saman idean pohjalta. Erona akseleiden liikkeiden toteutuksessa oli liikkuvat osat. X-akselin osalta liikkuu juoksuvaunu, kun z-akselin osalta liikkuvat alumiiniprofiilit.



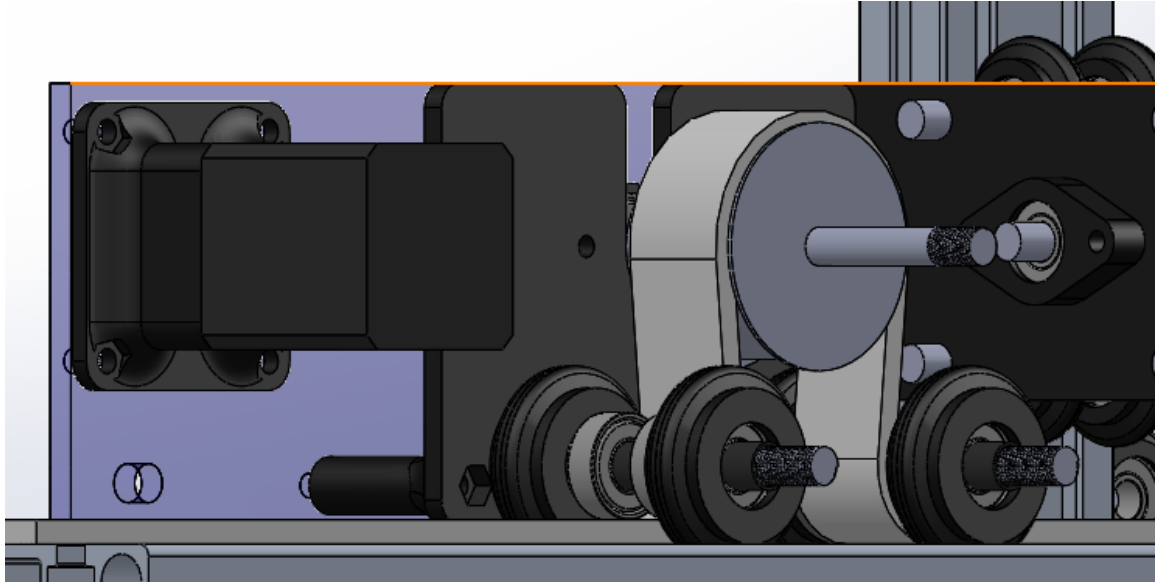
Kuva 12. X-akselin juoksuvaunun sivut joilla kiinnittyy sivulevyihin kiinni.

Kuvassa 12 olevan osan ympärille lähdettiin rakentamaan x-akselin juoksuvau-
nua. Osa on vaunun toinen sivu. Vaunu koostuu kokonaisuudessaan kahdesta
sivusta, tarvittavasta laakeroinnista, kahden rullan kokoonpanosta (kuva 13), ak-
seleista ja hammaspyöristä. Vaunu kiinnitetään pulteilla lineaarin sivulevyihin.

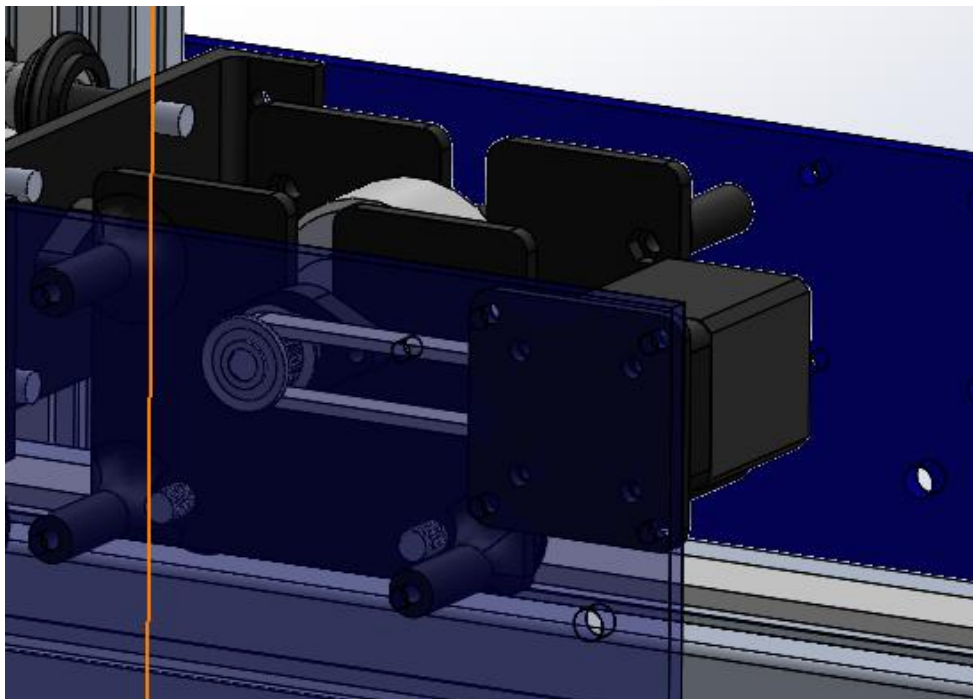


Kuva 13. X-akselin rengaskokoonpano. Välissä välikappaleet, joilla renkaat ase-
tetaan oikealle kohdalle. Keskellä kaksi laakeria, joita käytetään hihnan ohjaami-
seen.

Kuvista 14 ja 15 selviää hyvin x-akselin juoksuvaunun rakenne. Moottori haluttiin sijoittaa sivulevyjen sisälle, joten voimansiirrosta käytettiin välityshihnaa. Hammaspyöriä ja hihnaa muuttamalla välitystä voidaan muuttaa halutun laiseksi. Z-akselin rakenteesta tehtiin vastaavanlainen, sillä muutoksella, että moottori on tukevasti paikoillaan ja alumiiniprofiilit pääsevät liikkumaan.

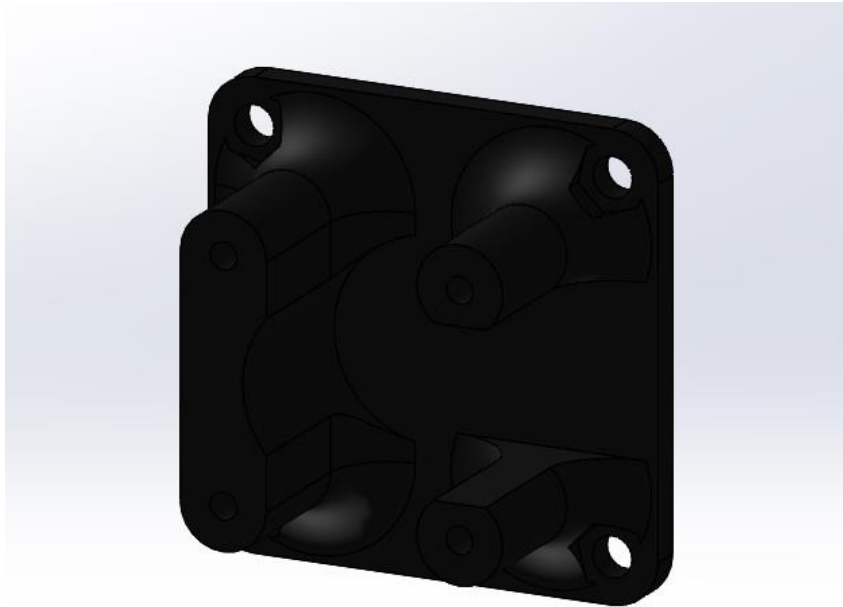


Kuva 14. X-akselin lineaari-juoksuvaunun toteutus.



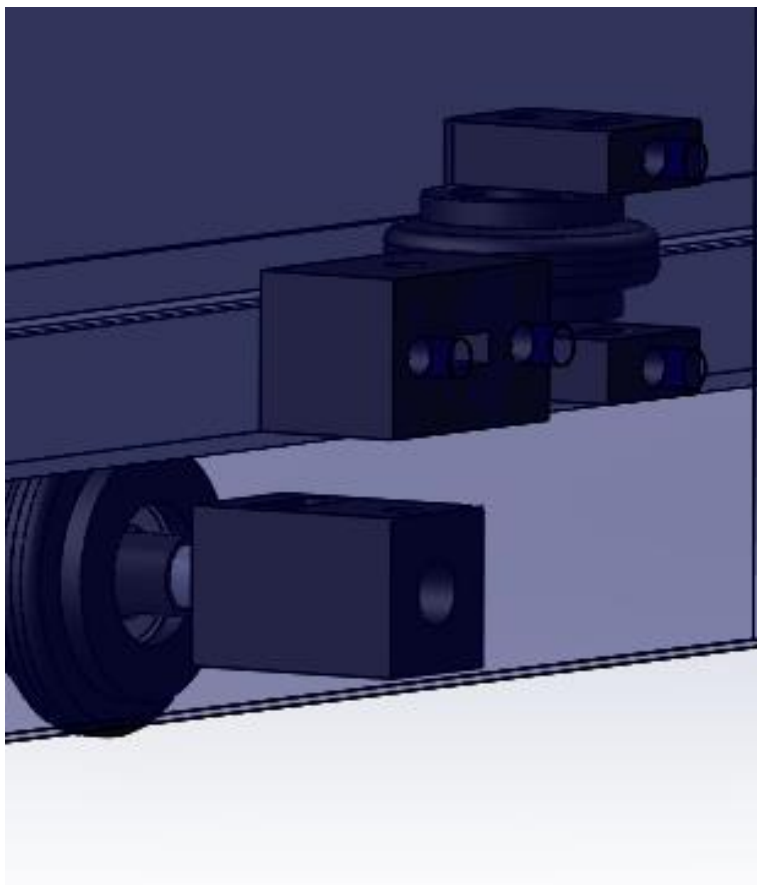
Kuva 15. X-akselin lineaari-juoksuvaunun voimansiirto.

Askelmoottorille tuli suunnitella myös sopiva kiinnitys (kuva 16) sivulevyihin. Kiinnitys suunniteltiin Nema17-kiinnityksellä olevalle askelmoottorille. Kiinnityksen toinen reuna on umpinainen, jotta kiinnitys olisi tukevampi. Keskelle on tehty tilaa hammaspyörälle ja hihnalle.

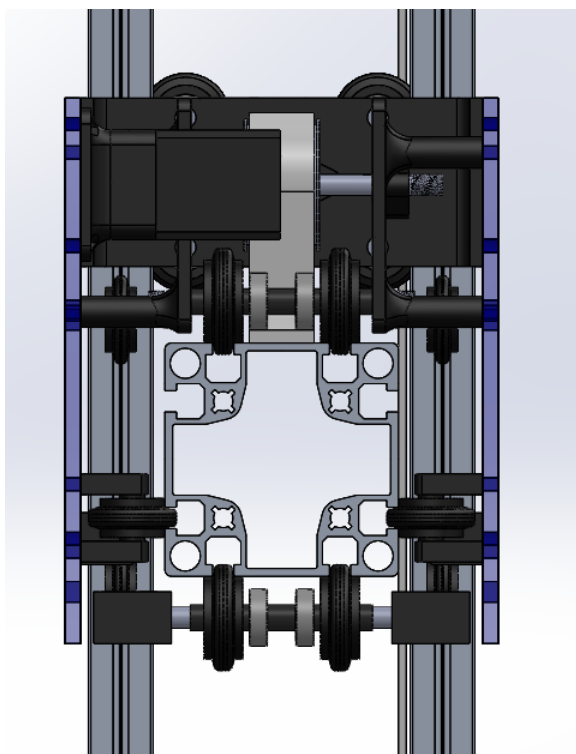


Kuva 16. Askelmoottorin kiinnitys sivulevyihin.

Suunnitellessa huomattiin, että kokoonpano vaatii kiristysmekanismeja (kuva 17). Kiristys päätettiin toteuttaa alapuolelta. Sivulevyihin kiinnitettiin kiristysmekanismin yläosa, jossa 3d-tulostetussa kappaleessa on sisällä mutteri. Alaosa koostuu kahden renkaan kokoonpanosta ja kappaleista, joiden läpi pultti tuodaan kiristysmekanismin yläosalle. Pulttia pyörittämällä voidaan kiristää ja löysätä liikkujaa.



Kuva 17. Kiristysmekanismi.



Kuva 18. Kokoonpano x-akselin päästä katsottuna.

5.3 Valmistusmenetelmät

Prototyypin osat valmistettiin mahdollisimman pitkälle 3D-tulostamalla ja laserleikkaamalla, koska kyseiset menetelmät olivat helposti saatavilla. Tulostuksessa käytettiin toimeksiantajan omaa FDM/FFF-tekniikalla toimivaa 3D-tulostinta. Laserleikkaukset suoritettiin Oulun yliopiston Fab Lab -työpajassa.

5.3.1 3D-tulostus

FDM/FFF-tekniikka

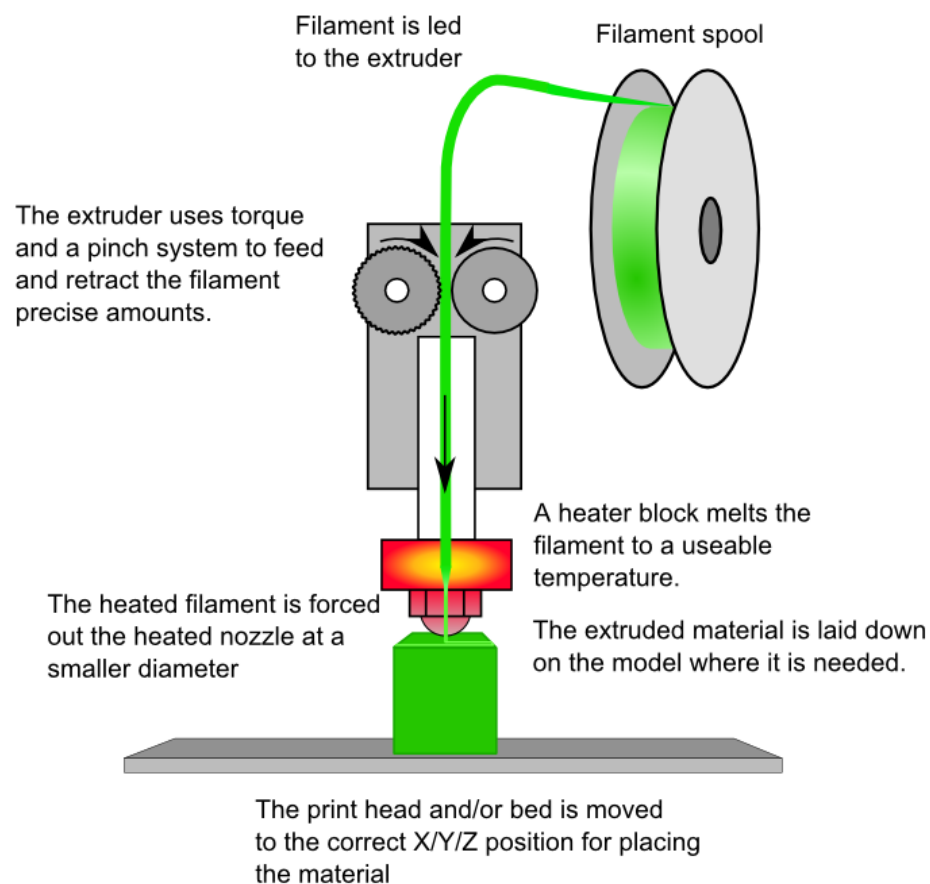
FDM-tekniikka (Fused Deposition Modeling) ja FFF-tekniikka (Fused Filament Fabrication) tarkoittavat samaa asiaa. Termi fused deposition modeling ja sen lyhenne FDM ovat Stratasys Oy:n patentoimia nimikkeitä, kun FFF on RepRap-projektin jäsenten keksimä vastaava nimitys. Kyseisellä tekniikalla tarkoitetaan vapaasti suomennettuna pursotusta. FDM/FFF on tällä hetkellä eniten käytetty tekniikka 3d-tulostuksessa. FDM/FFF-tekniikan suosioon vaikuttaa etenkin se, että ne ovat halvempia kuin SLA-tulostimet. [17.] [18.] [19.]

FDM-tulostuksessa kappale valmistetaan pursottamalla ohuita kerroksia kesto-muovia STL-mallin geometriaa mukaillen. Kappaleiden STL-malli viipaloidaan siihen tarkoitetulla ohjelmalla, kuten Repetier Host. Viipalointiohjelmalla STL-malli muutetaan G-koodi liikeradaksi, jota pitkin 3D-tulostimen tulostinpää liikkuu. [20.]

Tulostamisessa voidaan käyttää joko yhtä tai kahta materiaalia kerrallaan. Osassa tulostimissa on kaksi tulostuspäätä, jolloin tukimateriaalin käyttäminen mallimateriaalin lisäksi on mahdollista. Yleisimpiä FDM-tulostimella tulostettavia materiaaleja ovat ABS- ja PLA-muovit. [19.]

Ilman tukimateriaalia tulostettaessa on asia huomioitava tulostettavia osia suunnittellessa. Osat tulee suunnitella ja tulostussuunta valita niin, ettei kappaleessa ole piirteitä, jotka tulostuisivat tyhjän päälle. Tällaisilla piirteillä tarkoitetaan ns. over-

hang-piirteitä, kuten aloitustason yläpuolella olevia tasoja. Leveneviä kulmia voidaan tulostaa, kunhan kulma ei ole liian loiva. Liian loivalla kulmalla tulostus vahtaata samoin kuin overhang-piirteitä tulostettaessa. [21.]



Kuva 19. FDM-tekniikka [19.]

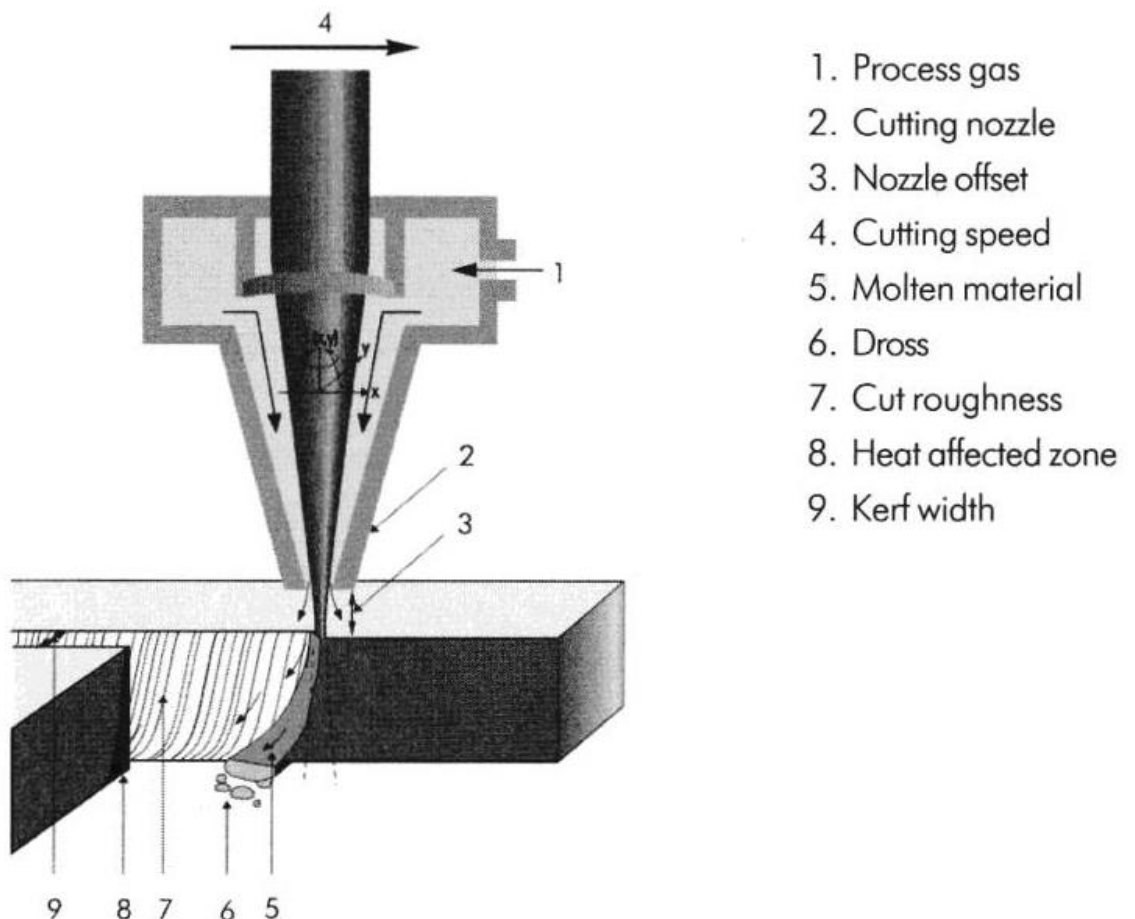
5.3.2 Laserleikkaus

Laserleikkaus on tekniikka, jossa käytetään laseria erilaisten materiaalien leikkaukseen. Yleisimmin leikattavat kappaleet ovat levymäisiä. "Laser" on lyhenne sanoista "light amplification by stimulated emission of radiation", joka suomennettuna tarkoittaa valon vahvistamista säteilyn stimuloidulla emissiolla. Laser kehitettiin useiden tutkimusryhmien yhteistyönä 1950-luvun lopulla. [22.] [23.]

CO₂-Laser

Lasersäteet jaetaan eri tyyppeihin lasersäteen synnyttämisessä käytetyn väliaineen perusteella. Tyypillisesti laserleikkauksessa käytetään CO₂-laseria, jonka aallonpituus on 10,6 μm . Syntynyt lasersäde kohdistetaan leikattavaan pintaan linssillä. Polttoväli riippuu leikattavan materiaalin paksuudesta, paksummilla materiaaleilla käytetään isompaa polttoväliä kuin ohuilla. [24.]

Laserleikkauksessa on mukana myös leikkauskaasu, joka osallistuu itse leikkausprosessiin sekä suojaa laserin optiikkaa syntyviltä käryiltä. Käytetty kaasu voi olla tavallista paineilmaa tai inerttiä kaasua, joka voi parantaa työstöjälkeä tietyissä tapauksissa. Kaasu työntää leikkauksesta syntyvät käryt pois ja estää materiaalia syttymästä tuleen. [24.]



Kuva 20. CO₂-laser [22.]

5.4 Osien valmistaminen

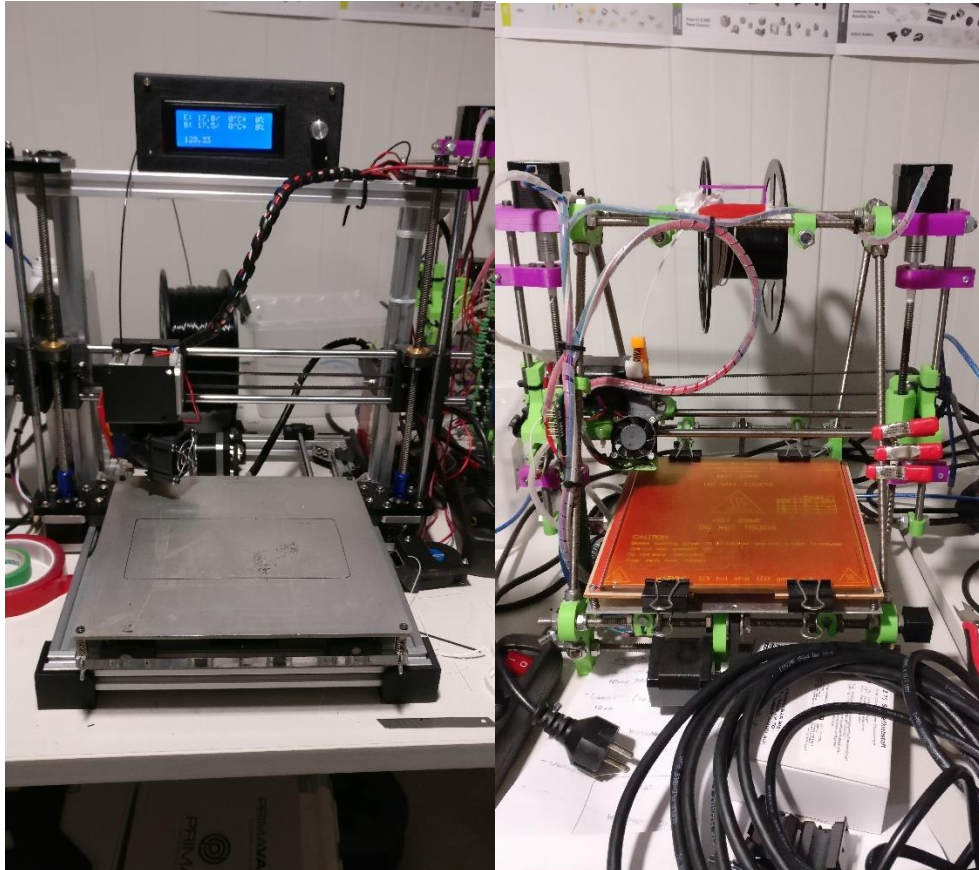
Kelkan sivut päätettiin laserleikata Oulun yliopiston Fab Labissa 5 mm paksusta akryylista. Askelmoottorit, hihnat ja hammaspyörät hankittiin ostamalla. Prototyypin akselit valmistettiin kierretangosta mittaan katkaisemalla. Tulevaisuudessa kierretangot tullaan vaihtamaan pyörötankoihin, joihin tehdään vain tarvittavat kierteet. Muut kokoonpanoon tarvittavat kappaleet 3D-tulostettiin ABS-muovista.

Laserleikkaaminen tapahtui Oulun yliopiston Fab Labissa. Fab Labissa oleva laserleikkuri on Epilog Fusion M2 40 CO₂-laser. Leikattavien kappaleiden piirustukset tuotiin pdf-muodossa viereiselle koneelle, josta ne lähetettiin laserleikkurille. Ennen pdf-tiedostojen lähettämistä leikkauksen asetukset valittiin materiaalille sopiviksi Epilogin Laser Dashboard Print Driverin avulla. Leikattava materiaali asetettiin leikkuriin ja kotipiste paikoitettiin punapistesoittimen avulla. Tämän jälkeen korkeus säädettiin materiaalille sopivaksi. Kun tarvittavat muutokset ja asetukset olivat kunnossa, voitiin leikkaus käynnistää koneen käyttöpaneelista. Leikkauksen ollessa käynnissä tapahtumaa seurattiin ja valvottiin, jottei vahinkoja pääsisi tapahtumaan. Kun ohjelma oli valmis ja kappaleet leikattu, oli vielä odotettava hetki ennen kappaleiden ottamista koneesta. Odottamisella varmistettiin, että leikkauksesta syntyneet kaasut olivat poistuneet ilmanvaihtoon. [25.]



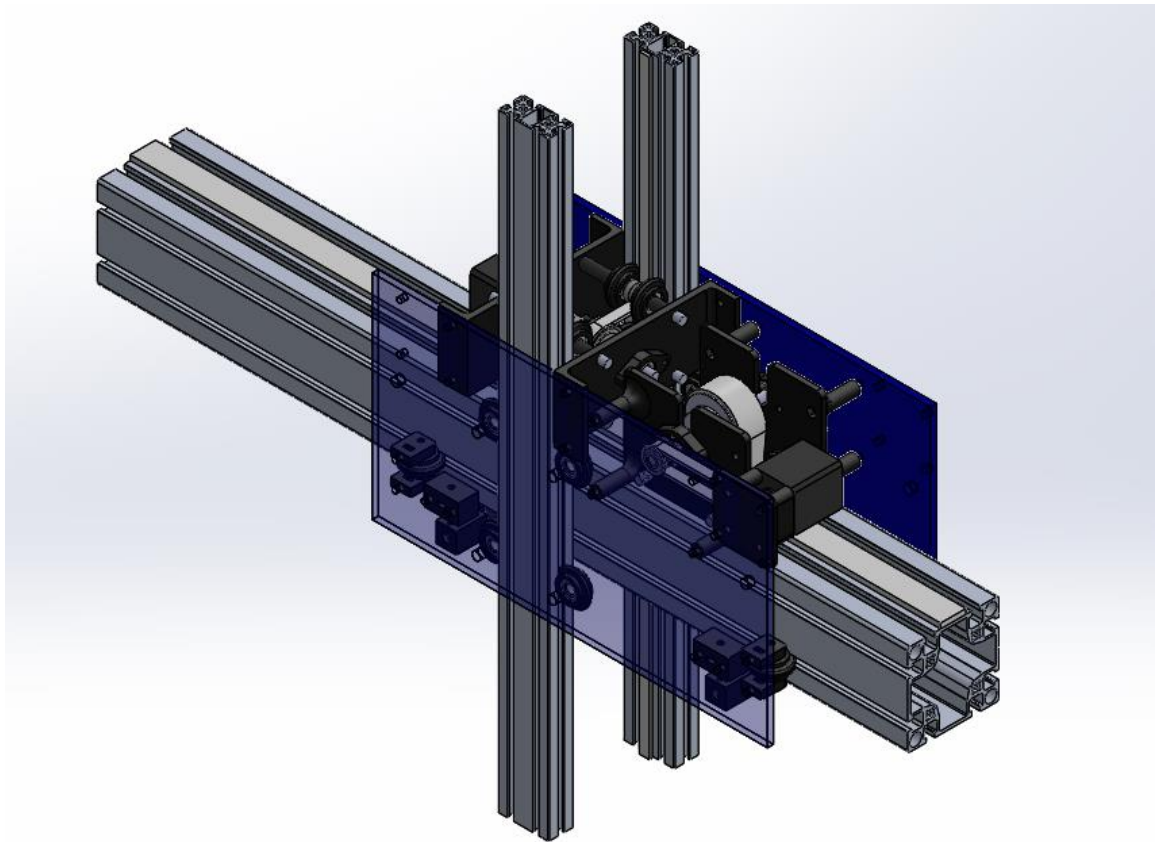
Kuva 21. Epilog Fusion M2 40 CO₂-laser Oulun yliopiston Fab Labissa. [25.]

3D-tulostaminen tapahtui Probot Oy:n omilla 3D-tulostimilla. Yrityksellä on käytössä kaksi kappaletta FDM/FFF-tulostimia. Kummallakkaan tulostimista ei ollut käytössä tukimateriaalia. Tulostusmateriaalina käytettiin mustaa ABS-muovia. Suunnitellut kappaleet tuotiin STL-muodossa tietokoneelle, jossa ne viipaloitiin halutuilla asetuksilla ja lähetettiin 3D-tulostimelle tulostettavaksi.



Kuva 22. Probot Oy:n 3D-tulostimet

6 KOKOONPANO



Kuva 23. Kokoonpano

Kokoonpano aloitettiin hankkimalla tarvittavat materiaalit. Osa kappaleista muotoutui lopulliseen muotoonsa lukuisien testien ja sovituksen jälkeen. Kokoonpano tapahtuikin pitkällä aikavälillä.

Kokoonpanon yksi pääelementeistä oli 90x90 mm alumiiniprofiili, jonka ympärille lineaaria alettiin kasata. Kokoonpano suoritettiin pienissä alikokoonpanoissa. Esimerkiksi jokainen rulla koostui kahdesta puolikkaasta sekä niiden väliin asetettavasta laakerista. Rullat toimivat taas osana seuraavan tason alikokoonpanoja, kuten akselin ympärille kasatut kahden rullan paketit.

Tämän jälkeen oli luontevaa alkaa kasata sivulevyihin kiinni tulevia kappaleita, kuten kiristysmekanismin yläpäätt sekä sivusuunnassa tukevat rullat. Sivusuunnassa tukevat rullat koostuivat rullasta sekä kahdesta kappaleesta, joiden väliin rulla kiристettiin. Myös kiristysmekanismin toinen osa oli yksi ensimmäisistä kokoonpanon

tehtävistä. Tämä koostui kahdesta rullasta, akselist, tarvittavista välikappaleista ja kiristysmekanismin alapäistä. Kiristysmekanismin toinen osa kasattiin akselin ympärille, joka sen jälkeen kiristettiin sivulevyissä oleviin kiristysmekanismin yläpäihin. Ennen kiristysmekanismin asennusta huomattiin, että sivulevyjen kumpaankin päähän kannattaa väliaikaisesti laittaa kaksi kierretankoa, joilla kelkka pysyy kasassa. Nämä helpottivat kokoonpanoa huomattavasti.

X-akselin juoksuvaunu kasattiin omana alikokoonpanonaan, jonka jälkeen se kiinnitettiin sivulevyihin. Hihna oli helppoa asentaa tässä samassa yhteydessä. Väli-tyshihna kiinnitettiin, kun askelmoottori ruuvattiin pakoilleen. Viimeisimpänä kokoonpanosta kasattiin z-akseliin liittyvät osat.

Lineaari on tällä hetkellä kokoonpantuna, mutta sen toimintaa ei ole vielä päästy kokeilemaan.

7 YHTEENVETO

Ensimmäisessä prototyypissä on liikaa osia, ja se on siitä johtuen liian monimutkainen kokoonpano. Suuri osien määrä johtaa siihen, että vikoja voi tulla herkemmin. On myös harkittava, onko laitteessa myöhemmässä vaiheessa mielekästä käyttää 3D-tulostettuja osia vai tulisiko ne valmistaa muusta materiaalista. Esimerkiksi 3D-tulostettujen rullien kestäminen pitkässä käytössä on pieni kysymysmerkki. Lineaariliikkujan kehittämistä tullaan jatkamaan yrityksessä. Kokoonpanoa tullaan yksinkertaistamaan ja lopulliset materiaalit valitaan tuolloin. Kannattaa myös pohtia, onko mielekästä alkaa rakentaa tämän suunnitelman pohjalta.

LÄHTEET

- [1] Probot Oy, kotisivu, luettu 13.01.2017, <http://probot.fi/index.html>
- [2] Techpe, Biomechanics, Linearmotion, luettu 14.03.2017, <http://www.teachpe.com/biomechanics/linear-motion/>
- [3] Brightstorm, Science, Physics, Linear and Projectile Motion, Linear motion luettu 14.03.2017, <https://www.brightstorm.com/science/physics/linear-and-projectile-motion/linear-motion/>
- [4] Anaheim Automation, Manuals, Linear Actuator Guide, luettu 05.04.2017, <http://www.anaheimautomation.com/manuals/forms/linear-actuator-guide.php#sthash.dLxoWbWk.8ZCvw66i.dpbs>
- [5] Movetec, Tuotteet, Hammashihnäkäytöt, Lineaariliiketekniikka, luettu 14.04.2017, <http://www.movetec.fi/images/pdf/lineaaritekniikka2.pdf>
- [6] Powerjacks, About-us, How a lead-screw works, luettu 15.04.2017, <http://www.powerjacks.com/about-us/how-a-lead-screw-works>
- [7] Motion Control Tips, What are Lead Screws? Technical Summary for Motion Engineers, luettu 15.04.2017, <http://www.motioncontroltips.com/lead-screws/>
- [8] Helixlinear blog, Lead-Screws vs Ball Screws, It's all about the application, luettu 15.04.2017, <http://blog.helixlinear.com/bid/224687/Lead-Screws-vs-Ball-Screws-It-s-All-about-the-Application>
- [9] Medical Design & outsourcing, What are ball screws?, luettu 15.04.2017, <http://www.medicaldesignandoutsourcing.com/what-are-ball-screws/>
- [10] Whatis, 3D modeling, luettu 14.04.2017, <http://whatis.techtarget.com/definition/3D-modeling>
- [11] Digital Engineering, Design, Evolution of Computer-Aided Design, luettu 18.04.2017, <http://www.digitaleng.news/de/evolution-of-computer-aided-design/>

- [12] Wikipedia, SolidWorks, luettu 13.02.2017, <https://fi.wikipedia.org/wiki/SolidWorks>
- [13] PLM Group, SolidWorks 3D CAD, luettu 13.02.2017, <https://plmgroup.fi/tuotteet/ohjelmistot/solidworks-3d-cad/>
- [14] Pinterest, Belt-driven linear rail, luettu 25.11.2016, <https://fi.pinterest.com/pin/493284965404937552/>
- [15] Paletti Profilsysteme, Products, Linear Motion Systems, Omega Drives, luettu 25.11.2016, <https://www.paletti.de/index.php?language=8&target=18>
- [16] Thingiverse, Extruded Aluminum Slide, luettu 25.11.2016 <http://www.thingiverse.com/thing:20659>
- [17] KJ Additive, FDM 3D tulostus, luettu 17.01.2017, <http://www.kjadditive.fi/fdm-3d-tulostus/>
- [18] Wikipedia, Fused deposition modeling, luettu 17.01.2017, https://en.wikipedia.org/wiki/Fused_deposition_modeling
- [19] RepRap, Wiki, Fused filament fabrication, luettu 17.01.2017, http://reprap.org/wiki/Fused_filament_fabrication
- [20] NC-Tuote, FDM-tulostimet, luettu 17.01.2017, <http://www.nc-tuote.fi/fi/fdm-tulostimet/>
- [21] AIP Works, 3d-tulostus, tietoa, Stratasys FDM, luettu 16.04.2017, <http://aipworks.fi/3d-tulostus/tietoa/stratasys-fdm/>
- [22] SteelTailor, Blog, How CO2 and Fiber laser cutting machine work?, luettu 13.02.2017, <http://www.steeltailor.com/blog/how-co2-and-fiber-laser-cutting-machine-work/>
- [23] Wikipedia, Laserleikkaus (teollisuus), luettu 13.02.2017, [https://fi.wikipedia.org/wiki/Laserleikkaus_\(teollisuus\)](https://fi.wikipedia.org/wiki/Laserleikkaus_(teollisuus))
- [24] Kilt, Sovelluskohteet, Laserleikkaus, luettu 13.02.2017, <http://kilt.fi/sovelluskohteet/laserleikkaus/>

[25] Fab Lab Oulu Wiki Space, Machines and facilities, Laser cutter, luettu 16.04.2017, <https://wiki.oulu.fi/display/FLOWS/Laser+cutter>

LIITTEET